

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 100 47 928.6

**Anmeldetag:** 27. September 2000

**Anmelder/Inhaber:** Siemens Aktiengesellschaft, München/DE

**Bezeichnung:** Simulationsverfahren

**Priorität:** 18.11.1999 DE 199 55 587.7

**IPC:** G 05 B 19/4069

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 23. November 2000  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

Ebert

## Beschreibung

## Simulationsverfahren

5 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Simulationsverfahren für eine dreidimensionale Bearbeitung durch eine CNC-gesteuerte Bearbeitungsmaschine, insbesondere eine Fräsmaschine, beschreibenden Datensatz.

10 Bei CNC-gesteuerten Bearbeitungsmaschinen wird ein Werkstück entweder von einem Programmierer direkt codiert oder das Werkstück wird mittels eines CAD-Systems modelliert und dann in ein äquivalentes CNC-Teileprogramm umgewandelt. Das CNC-Teileprogramm bzw. das CAD-Modell entsprechen dabei idealisierten Bearbeitungsanweisungen für die Bearbeitungsmaschine.  
15 Das CNC-Programm wird in eine CNC-Steuerung geladen und die Bearbeitungsmaschine entsprechend dem CNC-Programm gesteuert.

Wenn das so gefertigte Werkstück innerhalb der gewünschten  
20 Fertigungstoleranzen eines idealen Werkstücks liegt, stellen sich bei dieser Vorgehensweise keine Probleme. Entspricht das gefertigte Werkstück hingegen nicht den an es gestellten Anforderungen, stellt sich die Frage, aufgrund welcher Variationen ein ordnungsgemäßes Werkstück fertigbar ist.

25 Es ist zwar möglich, nacheinander einzelne Bearbeitungsanweisungen und/oder einzelne Betriebsparameter der Bearbeitungsmaschine zu ändern, ein neues Werkstück zu fertigen und dann dieses erneut gefertigte Werkstück zu überprüfen. Diese Vorgehensweise ist aber sehr mühsam und darüber hinaus kosten-,  
30 material- und zeitintensiv. Dies gilt ganz besonders auch deshalb, weil oftmals nicht bekannt ist, wo die Ursache für die Abweichungen des tatsächlich gefertigten Werkstücks vom gewünschten Werkstück zu suchen sind.

35

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine Möglichkeit zu schaffen, auf erheblich schnellere, einfachere

und kostengünstigere Weise als im Stand der Technik idealisierte Bearbeitungsanweisungen zu erstellen, mittels derer in der Realität ein ordnungsgemäßes, also innerhalb der zulässigen Toleranzbreite einem idealen Werkstück entsprechendes, reales Werkstück herstellbar ist.

Die Aufgabe wird durch ein Simulationsverfahren für einen eine dreidimensionale Bearbeitung durch eine CNC-gesteuerte Bearbeitungsmaschine, insbesondere eine Fräsmaschine, beschreibenden Datensatz gelöst,

- wobei eine Sollbearbeitung durch einen idealisierte Bearbeitungsanweisungen für die Bearbeitungsmaschine beschreibenden Ausgangsdatsatz bestimmt ist,
- wobei aus dem Ausgangsdatsatz von einer Recheneinheit ein Steuerdatsatz für eine die Bearbeitungsmaschine regelnde Regeleinheit ermittelbar ist,
- wobei aus dem Ausgangsdatsatz und/oder dem Steuerdatsatz mindestens eine zweidimensionale Projektion der Bearbeitung ermittelbar und über eine Anzeigeeinrichtung darstellbar ist.

Denn dadurch ist es möglich ein „virtuelles Werkstück“ zu fertigen bzw. die Bearbeitung virtuell durchzuführen. Es ist also nicht erforderlich, tatsächlich ein Werkstück zu fertigen. Prinzipiell muss die Bearbeitungsmaschine als solche nicht einmal vorhanden sein.

Wenn von der Recheneinheit aus dem Ausgangsdatsatz mindestens ein Zwischendatsatz und aus dem Zwischendatsatz der Steuerdatsatz ermittelbar ist, ist vorzugsweise auch aus dem Zwischendatsatz mindestens eine zweidimensionale Projektion der Bearbeitung ermittelbar und über die Anzeigeeinrichtung darstellbar ist. Denn dann ist das Simulationsverfahren noch flexibler einsetzbar.

Gleiches gilt auch für den Fall, dass anhand eines ein reales Verhalten der Bearbeitungsmaschine beschreibenden Modells aus

dem Steuerdatensatz rechnerisch ein die tatsächliche Bearbeitung beschreibender Enddatensatz ermittelbar ist und auch aus dem Enddatensatz mindestens eine zweidimensionale Projektion der tatsächlichen Bearbeitung ermittelbar und über die Anzeigeeinrichtung darstellbar ist.

Der Ausgangsdatsatz ist in der Regel ein Teileprogramm. Wahlweise können entweder dem Teileprogramm selbst Verfahrensgeschwindigkeiten, Verfahrensbeschleunigungen und Bahnkrümmungen zugeordnet werden oder das Teileprogramm ist in eine Polynomfolge umsetzbar und der Polynomfolge werden dann die Verfahrensgeschwindigkeiten, Verfahrensbeschleunigungen und Bahnkrümmungen zugeordnet. Anhand des Teileprogramms bzw. der Polynomfolge und den zugeordneten Verfahrensgeschwindigkeiten, Verfahrenbeschleunigungen und Bahnkrümmungen werden dann - ggf. zweistufig - miteinander zu koordinierende Bewegungen einzelner Verfahrensmöglichkeiten des Bearbeitungswerkzeugs ermittelt. Die miteinander zu koordinierenden Bewegungen bilden den Steuerdatensatz. Der Zwischendatsatz entspricht in diesen Fällen vorzugsweise dem Teileprogramm mit den ihm zugeordneten Verfahrensgeschwindigkeiten, Verfahrensbeschleunigungen und Bahnkrümmungen bzw. der Polynomfolge mit den oder ohne die der Polynomfolge zugeordneten Verfahrensgeschwindigkeiten, Verfahrenbeschleunigungen und Bahnkrümmungen.

Die Beschreibung des realen Verhaltens der Bearbeitungsmaschine ist effizient möglich, wenn sie durch Maschinenparameter erfolgt. Aus Flexibilitätsgründen sind die Maschinenparameter dabei vorzugsweise zumindest teilweise interaktiv änderbar. Sie umfassen in der Regel mindestens eine Abmessung eines Bearbeitungswerkzeugs der Bearbeitungsmaschine.

Das Simulationsverfahren arbeitet besonders flexibel, wenn - vorzugsweise interaktiv - selektierbar ist, welcher der Datensätze zur Ermittlung der mindestens einen zweidimensionalen Projektion und deren Darstellung über die Anzeigeeinrichtung herangezogen wird.

Zur Ermittlung der mindestens einen zweidimensionalen Projektion wird vorzugsweise anhand des selektierten Datensatzes eine Vielzahl von Stützstellen ermittelt, die in ihrer Gesamtheit das virtuelle dreidimensionale Werkstück beschreiben.

Weitere Vorteile und Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels. Dabei zeigen in Prinzipdarstellung

10

FIG 1 eine Bearbeitungsmaschine mit einem Rechner und einer Regeleinheit,

FIG 2 den Rechner von FIG 1 in Detail und

15

FIG 3 eine Steuereinrichtung und einen Simulations- und/oder Emulations-Rechner.

20

Gemäß FIG 1 wird in einen Rechner 1, z.B. einen PC 1, ein Ausgangsdatsatz 2 eingegeben. Der Ausgangsdatsatz 2 beschreibt idealisierte Bearbeitungsanweisungen für eine CNC-gesteuerte Bearbeitungsmaschine 3. Er ist üblicherweise ein sogenanntes Teileprogramm 2. Die Bearbeitungsmaschine 3 ist im vorliegenden Fall als Fräsmaschine 3 ausgebildet. Sie könnte aber auch eine andere Werkzeugmaschine, z.B. eine Bohr- oder Drehmaschine sein. Auch könnte die Bearbeitungsmaschine 3 als Industrieroboter oder als Sondermaschine ausgebildet sein.

25

30

Der Ausgangsdatsatz 2 beschreibt eine Sollbearbeitung eines Werkstücks 11 durch die Bearbeitungsmaschine 3. Aus ihm ermittelt der Rechner 1 gemäß FIG 2 anhand seines Programms einen Steuerdatsatz 4 für die Bearbeitungsmaschine 3. Der Steuerdatsatz 4 stellt somit ebenfalls eine Sollbearbeitung des Werkstücks 11 dar, und der Rechner 1 bildet eine CNC-Steuerung für die Bearbeitungsmaschine 3.

35

Zur Ermittlung des Steuerdatsatzes 4 setzt der Rechner 1 vorzugsweise in einem Funktionsblock 5, dem sogenannten Kom-

processor 5, zunächst das Teileprogramm 2 in eine Polynomfolge 6 um. Die Polynomfolge 6 ergibt eine abzufahrende Bahn eines Bearbeitungswerkzeugs 7, hier eines Fräskopfs 7. Sodann werden der Polynomfolge 6 vom Anwender Sollverfahrensgeschwindigkeiten zugeordnet. Der Rechner 1 errechnet dann erwartete Verfahrensgeschwindigkeiten  $v$ , erwartete Verfahrbeschleunigungen  $a$  und Verfahrdrucke  $r$  des Bearbeitungswerkzeugs 7 sowie erwartete Bahnkrümmungen. Falls diese Werte  $v$ ,  $a$ ,  $r$  zulässige Grenzwerte überschreiten, korrigiert der Rechner 1 die Bewegungsführung des Bearbeitungswerkzeugs 7 entsprechend, so dass die zulässigen Grenzwerte eingehalten werden.

Das Umsetzen des Teileprogramms 2 in die Polynomfolge 6 kann auch entfallen. In diesem Fall werden die Sollverfahrensgeschwindigkeiten, die erwarteten Verfahrensgeschwindigkeiten  $v$ , die erwarteten Verfahrbeschleunigungen  $a$  und die Verfahrdrucke  $r$  sowie die erwarteten Bahnkrümmungen dem Teileprogramm 2 zugeordnet. Auch ist es möglich, die Polynomfolge 6 direkt mittels eines CAD-Systems zu erzeugen.

Als nächstes werden anhand der Polynomfolge 6 und den dieser zugeordneten Verfahrensgeschwindigkeiten  $v$ , Verfahrbeschleunigungen  $a$ , Verfahrdrucken  $r$  sowie Bahnkrümmungen in einem weiteren Funktionsblock 8 des Rechners 1, dem sogenannten Interpolator 8, miteinander zu koordinierende Bewegungen einzelner - in der Regel axialer - Verfahrensmöglichkeiten des Bearbeitungswerkzeugs 7 ermittelt. Diese Koordinierung erfolgt, da dem Interpolator 8 als weiterer Funktionsblock 9 in der Regel ein sogenannter Feininterpolator 9 nachgeordnet ist, zweistufig. Das Ausgangssignal des Feininterpolators 9 bildet dann den Steuerdatensatz 4. Es erfolgt also eine Aufteilung der Bahn auf einzelne Achsen bzw. allgemeiner Bewegungsfreiheitsgrade des Bearbeitungswerkzeugs 7. Auch die so gebildeten Zwischendatensätze stellen eine Sollbearbeitung des Werkstücks 11 durch die Bearbeitungsmaschine 3 dar.

Der vom Rechner 1 ermittelte Steuerdatensatz 4 wird an eine Regeleinheit 10 übermittelt. Diese regelt die Bearbeitungsmaschine 3 entsprechend dem Steuerdatensatz 4. Die Bearbeitungsmaschine 3 fertigt daher, geregelt von der Regeleinheit 10, entsprechend den im Steuerdatensatz 4 realisierten Steueranweisungen das Werkstück 11. Dabei werden unter anderem von dem Bearbeitungswerkzeug 7 angenommene Verfahrenswege erfasst und an die Regeleinheit 10 übermittelt. Die Regeleinheit 10 kann somit ein nichtideales Verhalten der Bearbeitungsmaschine 3, insbesondere ein Elastizitätsverhalten E der Bearbeitungsmaschine 3, erfassen und durch Ausregeln kompensieren.

In der Praxis ergeben sich Abweichungen zwischen dem tatsächlich gefertigten Werkstück 11 und einem durch den Ausgangsdatensatz 2 beschriebenen idealen Werkstück. Das Ausmass der Abweichungen ist von einer Vielzahl von Faktoren abhängig, insbesondere von der Umsetzung des Ausgangsdatensatzes 2 in den Steuerdatensatz 4, der Qualität der Regelung durch die Regeleinheit 10, dem tatsächlichen Verhalten der Bearbeitungsmaschine 3 und den Eigenschaften des Antriebs der Bearbeitungsmaschine 3.

Je nach Größe der Abweichungen des real gefertigten Werkstücks 11 von dem idealen Werkstück sind diese Abweichungen tolerierbar oder nicht. Wenn die Abweichungen nicht tolerierbar sind, sind Änderungen erforderlich. Die Änderungen des Steuerdatensatzes 4 können dabei durch Änderungen des Ausgangsdatensatzes 2, durch Änderungen bei der Umsetzung des Ausgangsdatensatzes 2 in den Steuerdatensatz 4, durch Änderungen bei der Regelung durch die Regeleinheit 10, durch eine Variation des tatsächlichen Verhaltens, insbesondere des Elastizitätsverhaltens E, der Bearbeitungsmaschine 3 und durch eine Anpassung der Eigenschaften des Antriebs der Bearbeitungsmaschine 3 erfolgen. Soweit Eigenschaften der Bearbeitungsmaschine 3 und/oder ihres Antriebs festgelegt werden, muss selbstverständlich aufgrund theoretischer Berechnungen

und/oder experimenteller Versuche verifiziert werden, dass diese Eigenschaften tatsächlich gegeben sind.

Um eine Optimierung des real gefertigten Werkstücks 11 möglichst schnell zu erreichen, ist gemäß FIG 3 ein Simulations- und/oder Emulations-Rechner 1' vorgesehen. Der Simulations- und/oder Emulations-Rechner 1' arbeitet ein Computerprogrammprodukt 12 ab. Im Rahmen der Abarbeitung des Computerprogrammprodukts 12 werden dem Simulations- und/oder Emulations-Rechner 1' insbesondere der Ausgangsdatensatz 2, die Polynomfolge 6, die der Polynomfolge 6 zugeordneten Verfahrensgeschwindigkeiten  $v$ , Verfahrensbeschleunigungen  $a$  und Verfahrerrucke  $r$  sowie Bahnkrümmungen und der Steuerdatensatz 4 übermittelt. Hierzu werden von dem Computerprogrammprodukt 12 Schnittstellen 13 realisiert, über die der Simulations- und/oder Emulations-Rechner 1' mit dem Rechner 1 kommuniziert.

Ferner simuliert bzw. modelliert der Simulations- und/oder Emulations-Rechner 1' im Rahmen der Abarbeitung des Computerprogrammprodukts 12 das Regelverhalten der Regeleinheit 10 und das tatsächliche Verhalten (einschließlich des Elastizitätsverhaltens  $E$ ) und die Eigenschaften des Antriebs der Bearbeitungsmaschine 3. Er ermittelt also rechnerisch anhand eines Modells  $M$  einen Enddatensatz 15, der eine reale Bearbeitung des dreidimensionalen Werkstücks 11 beschreibt.

Das Modell  $M$  ist durch über eine weitere Schnittstelle 14 - vorzugsweise interaktiv - an vorgebbare Modellparameter anpassbar. Insbesondere ist das Elastizitätsverhalten  $E$  der Bearbeitungsmaschine 3 änderbar. Über die weitere Schnittstelle 14 ist auch der Ausgangsdatensatz 2 interaktiv änderbar. Ferner ist über die die weitere Schnittstelle 14 auch mindestens eine Abmessung  $d$  des Bearbeitungswerkzeugs 7, z.B. der Durchmesser des Fräskopfs 7, interaktiv änderbar. Die weitere Schnittstelle 14 ist üblicherweise in Form einer Tastatur und/oder einer Maussteuerung realisiert.



Das - statische und dynamische - Elastizitätsverhalten E der Bearbeitungsmaschine 3 kann z. B. in Form einer parametrisierten Differenzialgleichung berücksichtigt werden. Die Beschreibung der realen Eigenschaften der Bearbeitungsmaschine 3 erfolgt somit durch Maschinenparameter. Vorzugsweise sind auch die Maschinenparameter über die weitere Schnittstelle 14 interaktiv änderbar. Anstatt durch eine parametrisierte Differenzialgleichung kann das Elastizitätsverhalten E der Bearbeitungsmaschine 3 aber auch mittels eines Finite-Element-Modells (FEM) oder eines starren oder flexiblen Mehrkörpermodells (MKM, FMKM) bzw. -systems (MKS, FMKS) berücksichtigt werden.

Zur Visualisierung wird einer der Datensätze 2, 4, 6, 15 selektiert. Für den Fall der Selektion der Polynomfolge 6 kann dabei weiter unterschieden werden, ob diese mit den oder ohne die der Polynomfolge 6 zugeordneten Verfahrensgeschwindigkeiten v, Verfahrensbeschleunigungen a und Verfahrerrucken r sowie den Bahnkrümmungen selektiert wird. Der selektierte Datensatz 2, 4, 6 bzw. 15 ist dabei interaktiv änderbar. Insbesondere ist es möglich, nur einen Teil des selektierten Datensatzes 2, 4, 6 bzw. 15 herauszugreifen.

Auch die Selektion erfolgt vorzugsweise interaktiv über die weitere Schnittstelle 14. Der selektierte Datensatz 2, 4, 6 bzw. 15 wird dann zur Ermittlung mindestens einer zweidimensionalen Projektion verwendet. Hierzu wird anhand des selektierten Datensatzes 2, 4, 6 bzw. 15 eine Vielzahl von Stützstellen ermittelt, die in ihrer Gesamtheit das virtuelle dreidimensionale Werkstück beschreiben.

Die Gesamtheit der Stützstellen bildet einen Darstellungsdatensatz 16. Das Format der Daten des Darstellungsdatensatzes 16 ist unabhängig vom selektierten Datensatz 2, 4, 6 bzw. 15. Der Simulations- und/oder Emulations-Rechner 1' ermittelt anhand der Stützstellen die mindestens eine zweidimensionale Projektion des virtuellen Werkstücks 11. Diese Projektion

wird von dem Simulations- und/oder Emulations-Rechner 1' über eine Anzeigeeinrichtung 17, typisch einen Monitor 17 oder ein TFT-Display 17, dargestellt.

- 5 Die Darstellung des selektierten Datensatzes 2, 4, 6 bzw. 15 besteht aus Polyedern. Wenn der selektierte Datensatz 2, 4, 6 bzw. 15 nur Positionsangaben umfasst, können zur Visualisierung selbstverständlich auch nur die Positionsangaben herangezogen werden. Wenn hingegen der selektierte Datensatz 2, 4, 10 6 bzw. 15 auch Geschwindigkeits-, Beschleunigungs- Ruck- und Krümmungsangaben umfasst, können zur Visualisierung auch diese verwendet werden. Beispielsweise können unterschiedliche Geschwindigkeiten  $v$ , Beschleunigungen  $a$ , Rucke  $r$  bzw. Krümmungen durch verschiedene Farbwerte dargestellt werden. Ggf. 15 können zwischen benachbarten Stützstellen auch Farbübergänge bzw. -abstufungen vorgenommen werden.

Die zweidimensionalen Projektionen des selektierten Datensatzes 2, 4, 6 bzw. 15 sind, wie allgemein üblich und bekannt, 20 interaktiv änderbar. Insbesondere ist die Darstellung drehbar, so dass sich der Blickwinkel, aus dem es betrachtet wird, ändert. Ferner ist es zoombar, so dass sich also der Abbildungsmaßstab ändert. Ferner ist eine Beleuchtungskonfiguration interaktiv vorgebbar.

- 25 Um den Einfluss einzelner Funktionsblöcke 5, 8, 9 isoliert beurteilen zu können, sind ferner die Funktionsblöcke 5, 8, 9 einzeln interaktiv ausblendbar. Das Ausblenden eines der Funktionsblöcke 5, 8 bzw. 9 hat zur Folge, dass der ausgeblendete Funktionsblock 5, 8 bzw. 9 bei der Ermittlung des 30 Steuerdatensatzes 4 übersprungen wird.

Wird beispielsweise der Kompressor 5 ausgeblendet, so entfällt das Ermitteln der Polynomfolge 6. In diesem Fall werden 35 die Verfahrensgeschwindigkeiten  $v$  usw. dem Teileprogramm 2 zugeordnet und - ein- oder zweistufig - die miteinander zu koordinierende Bewegungen einzelner Verfahrensmöglichkeiten des Be-

arbeitungswerkzeugs 7 anhand des Teileprogramms 2 und den diesem zugeordneten Zusatzangaben  $v$ ,  $a$ ,  $r$  ermittelt. Der Steuerdatensatz 4 entspricht in diesem Fall nach wie vor den miteinander zu koordinierenden Bewegungen. Das Teileprogramm  
5 2 nebst den ihm zugeordneten Zusatzangaben  $v$ ,  $a$ ,  $r$  ist in diesem Fall selbstverständlich als darzustellender Datensatz selektierbar.

Mittels des erfindungsgemäßen Simulationsverfahrens ist es  
10 auf einfache und kostengünstige Weise möglich, schnelle optimierte Steuerdatensätze 4 für Bearbeitungsmaschinen 3 aller Art zu erstellen.

## Patentansprüche

1. Simulationsverfahren für einen eine dreidimensionale Bearbeitung durch eine CNC-gesteuerte Bearbeitungsmaschine (3),  
5 insbesondere eine Fräsmaschine (3), beschreibenden Datensatz (2,4,6,15),

- wobei eine Sollbearbeitung durch einen idealisierte Bearbeitungsanweisungen für die Bearbeitungsmaschine (3) beschreibenden Ausgangsdatsatz (2) bestimmt ist,

10 - wobei aus dem Ausgangsdatsatz (2) von einer Recheneinheit (1) ein Steuerdatsatz (4) für eine die Bearbeitungsmaschine (3) regelnde Regeleinheit (10) ermittelbar ist,

- wobei aus dem Ausgangsdatsatz (2) und/oder dem Steuerdatsatz (4) mindestens eine zweidimensionale Projektion der  
15 Bearbeitung ermittelbar und über eine Anzeigeeinrichtung (17) darstellbar ist.

2. Simulationsverfahren nach Anspruch 1, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t , dass von der Recheneinheit  
20 (1) aus dem Ausgangsdatsatz (2) mindestens ein Zwischendatsatz (6) und aus dem Zwischendatsatz (6) dann der Steuerdatsatz (4) ermittelbar ist und dass auch aus dem Zwischendatsatz (6) mindestens eine zweidimensionale Projektion der Bearbeitung ermittelbar und über die Anzeigeeinrichtung (17) darstellbar ist.

3. Simulationsverfahren nach Anspruch 2, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t ,  
- dass der Ausgangsdatsatz (2) ein Teileprogramm (2) ist,  
30 - dass dem Teileprogramm (2) Verfahrensgeschwindigkeiten (v),  
Verfahrbeschleunigungen (a) sowie Bahnkrümmungen zuordenbar sind,  
- dass anhand des Teileprogramms (2) und den diesem zuordenbaren Verfahrensgeschwindigkeiten (v), Verfahrbeschleunigungen (a) sowie Bahnkrümmungen - ggf. zweistufig - miteinander zu  
35 koordinierende Bewegungen einzelner Verfahrensmöglichkeiten des Bearbeitungswerkzeugs (7) ermittelbar sind, wobei die

miteinander zu koordinierenden Bewegungen den Steuerdatensatz (4) bilden, und

- dass der Zwischendatensatz dem Teileprogramm (2) mit den ihm zugeordneten Verfahrensgeschwindigkeiten (v), Verfahrbeschleunigungen (a) sowie Bahnkrümmungen entspricht.

4. Simulationsverfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet,

- dass der Ausgangsatensatz (2) ein Teileprogramm (2) ist,
- 10 - dass das Teileprogramm (2) in eine Polynomfolge (6) umsetzbar ist,
- dass der Polynomfolge (6) Verfahrensgeschwindigkeiten (v), Verfahrbeschleunigungen (a) sowie Bahnkrümmungen zuordenbar sind,
- 15 - dass anhand der Polynomfolge (6) und den dieser zuordenbaren Verfahrensgeschwindigkeiten (v), Verfahrbeschleunigungen (a) sowie Bahnkrümmungen - ggf. zweistufig - miteinander zu koordinierende Bewegungen einzelner Verfahrensmöglichkeiten des Bearbeitungswerkzeugs (7) ermittelbar sind, wobei die
- 20 miteinander zu koordinierenden Bewegungen den Steuerdatensatz (4) bilden, und
- dass der Zwischendatensatz (6) der Polynomfolge (6) mit den oder ohne die der Polynomfolge (6) zugeordneten Verfahrensgeschwindigkeiten (v), Verfahrbeschleunigungen (a) sowie
- 25 Bahnkrümmungen entspricht.

5. Simulationsverfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass anhand eines ein reales Verhalten der Bearbeitungsmaschine (3) beschreibenden Modells (M) aus dem Steuerdatensatz (4) rechnerisch ein die tatsächliche Bearbeitung beschreibender Enddatensatz (15) ermittelbar ist und dass auch aus dem Enddatensatz (15) mindestens eine zweidimensionale Projektion der tatsächlichen Bearbeitung ermittelbar und über die Anzeigeeinrichtung (17) darstellbar ist.

6. Simulationsverfahren nach Anspruch 5, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t , dass die Beschreibung des re-  
alen Verhaltens der Bearbeitungsmaschine (3) durch Maschinen-  
parameter (E,d) erfolgt.

5

7. Simulationsverfahren nach Anspruch 6, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t , dass die Maschinenparameter  
(E, d) zumindest teilweise interaktiv änderbar sind.

10

8. Simulationsverfahren nach Anspruch 5, 6 oder 7, d a -  
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Maschi-  
nenparameter (E, d) mindestens eine Abmessung (d) eines Bear-  
beitungswerkzeugs (7) der Bearbeitungsmaschine (3) umfassen.

15

9. Simulationsverfahren nach einem der obigen Ansprüche,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass - vor-  
zugsweise interaktiv - selektierbar ist, welcher der Daten-  
sätze (2,4,6,15) zur Ermittlung der mindestens einen zweidi-  
mensionalen Projektion und deren Darstellung über die Anzei-  
geeinrichtung (17) herangezogen wird.

20

10. Simulationsverfahren nach Anspruch 9, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t , dass anhand des selektierten  
Datensatzes (2,4,6,15) eine Vielzahl von Stützstellen ermit-  
telt wird, die in ihrer Gesamtheit die Bearbeitung beschrei-  
ben.

25

11. Simulationsverfahren nach Anspruch 9 oder 10, d a -  
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass der selek-  
tierte Datensatz (2,4,6,15) interaktiv änderbar.

30

12. Computerprogrammprodukt zur Durchführung eines Simulati-  
onsverfahrens nach einem der obigen Ansprüche.

35

13. Mit einem Computerprogrammprodukt nach Anspruch 12 pro-  
grammierter Simulations- und/oder Emulations-Rechner.

## Zusammenfassung

### Simulationsverfahren

- 5 Durch einen idealisierte Bearbeitungsanweisungen für eine Bearbeitungsmaschine (3) beschreibenden Ausgangsdatensatz (2) ist eine dreidimensionale (Soll-)Bearbeitung durch eine CNC-gesteuerte Bearbeitungsmaschine (3) bestimmt. Aus dem Ausgangsdatensatz (2) ist von einer Recheneinheit (1) ein Steuerdatensatz (4) für eine die Bearbeitungsmaschine (3) regelnde Regeleinheit (10) ermittelbar. Aus dem Ausgangsdatensatz (2) und/oder dem Steuerdatensatz (4) ist mindestens eine zweidimensionale Projektion der Bearbeitung ermittelbar und über eine Anzeigeeinrichtung (17) darstellbar.
- 10
- 15

FIG 3

FIG 1

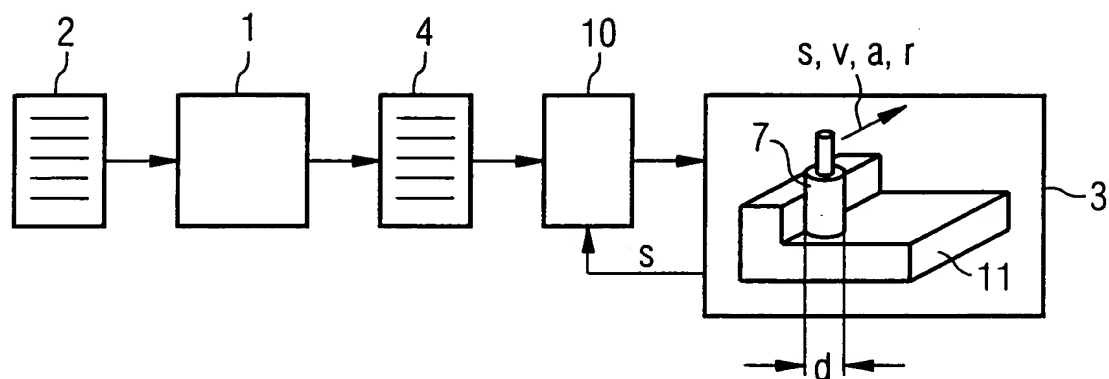


FIG 2

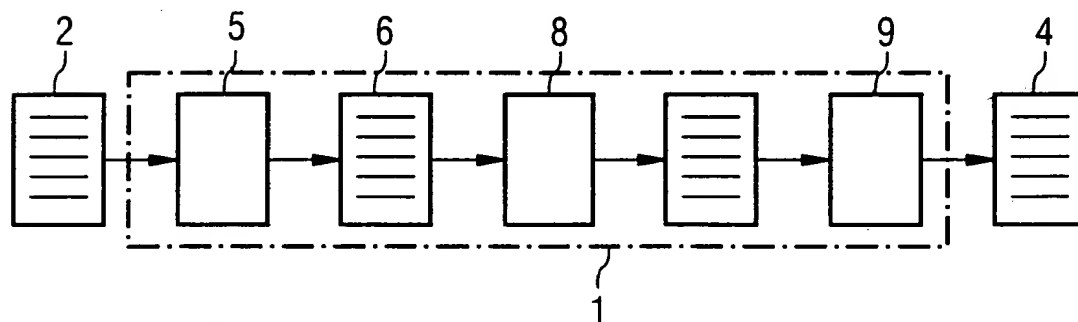




FIG 3

